電気鉄道の最小エネルギー運転方法に関する考察

○宮武 昌史　高 英聖　松田 邦彦

（上智大学 理工学部 電気・電子工学科）

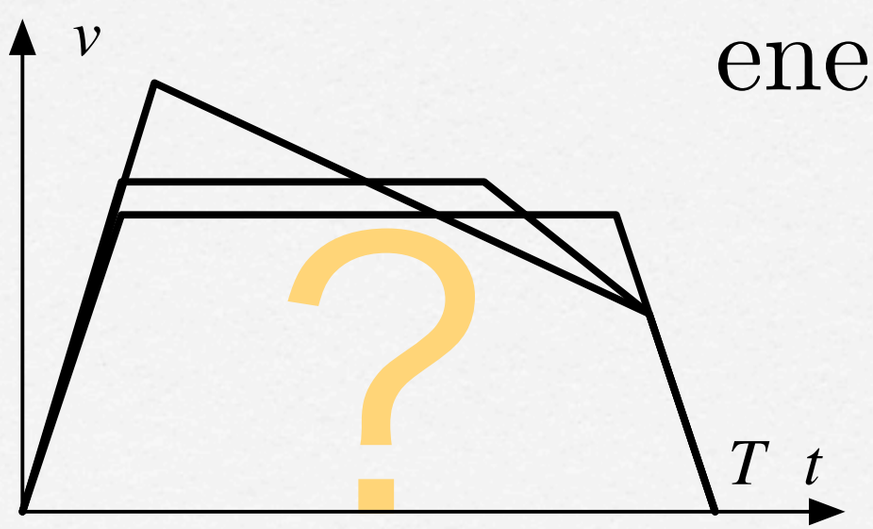
SOPHIA 100th ANNIVERSARY
2013

はじめに

- 電気鉄道の省エネルギー
  - サービス・運賃を犠牲にしない
- ソフト的手法による省エネ
  - 所定の距離を所定の時間で走る
  - 余裕時分を活用、賢く走って省エネ

はじめに

- 目的
  - 省エネルギーな走り方を明らかに
  - 走り方の評価に使える最適化モデルの提案



$$\text{energy} \rightarrow \text{min.}$$

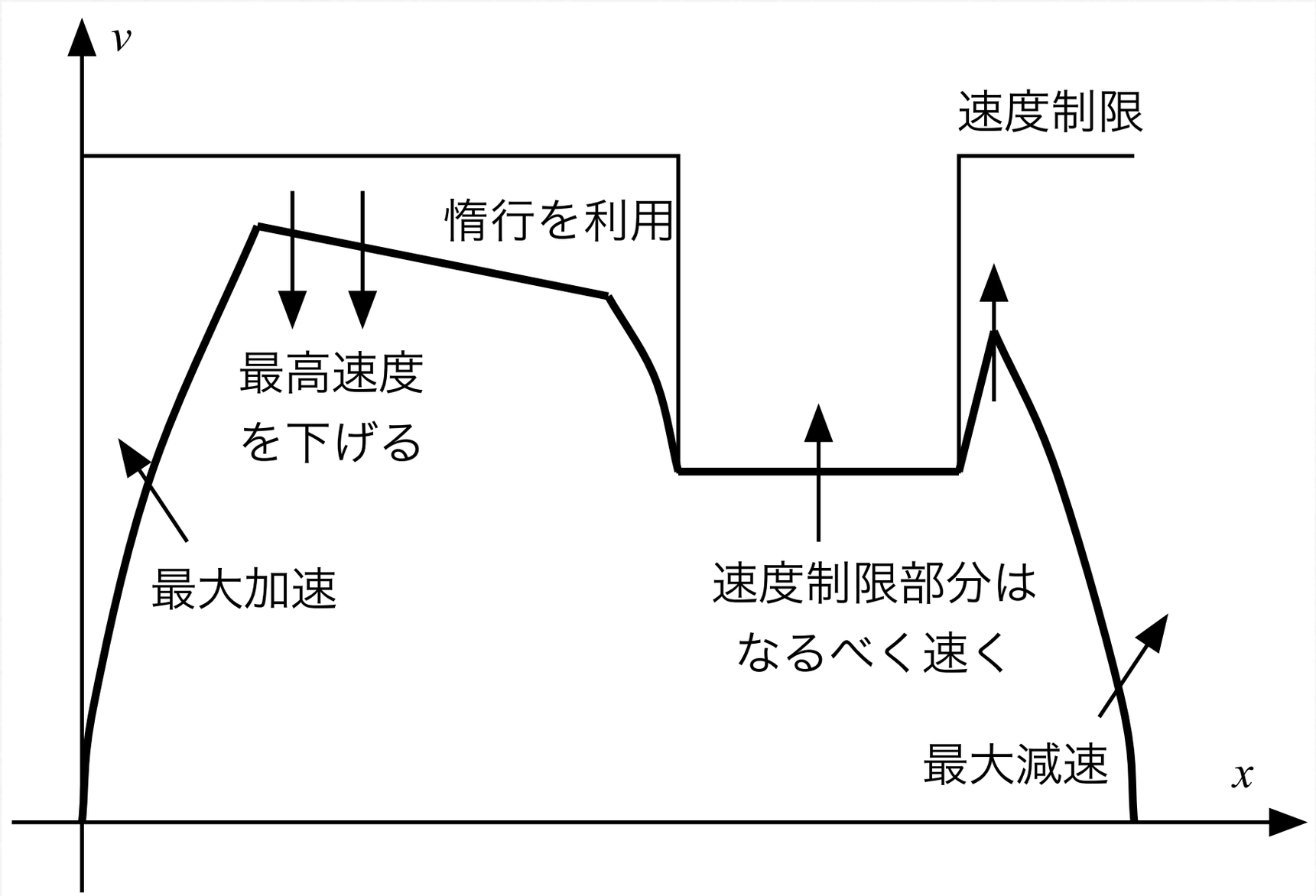
$$T = \text{const.}$$

$$\int_0^T v dt = \int_0^T \int_0^T a dt dt = \text{const.}$$

本日の発表内容

1. 最適運転の定性的条件
2. 車両単体での最適化
3. き電損失を考慮した解析
4. 複数列車の考慮
5. 電力貯蔵装置の考慮
6. 実システムへの適用性

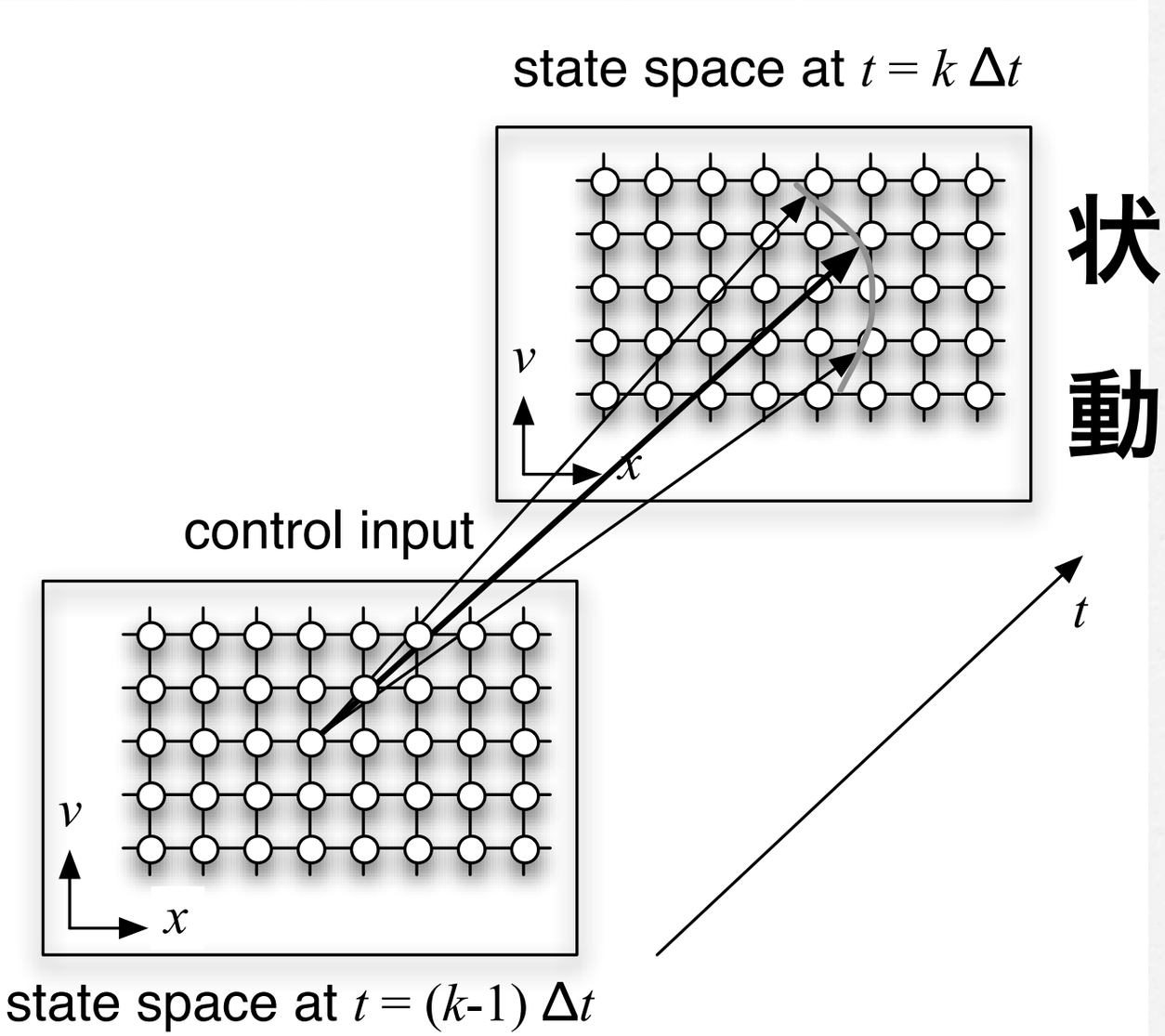
1. 最適運転の定性的条件



1. 最適運転の定性的条件

- 考慮すべき点
  - き電特性と加減速への影響
  - 電空併用ブレーキと回生失効
  - 走行抵抗や勾配抵抗
  - 速度制限
  - 駅間走行時分一定化

2. 車両単体での最適化



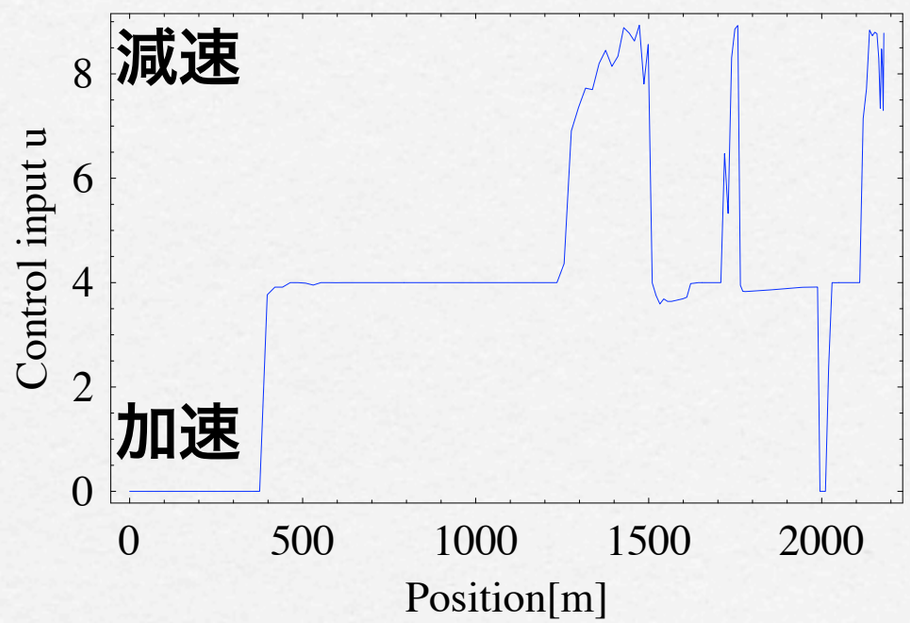
状態空間の量子化

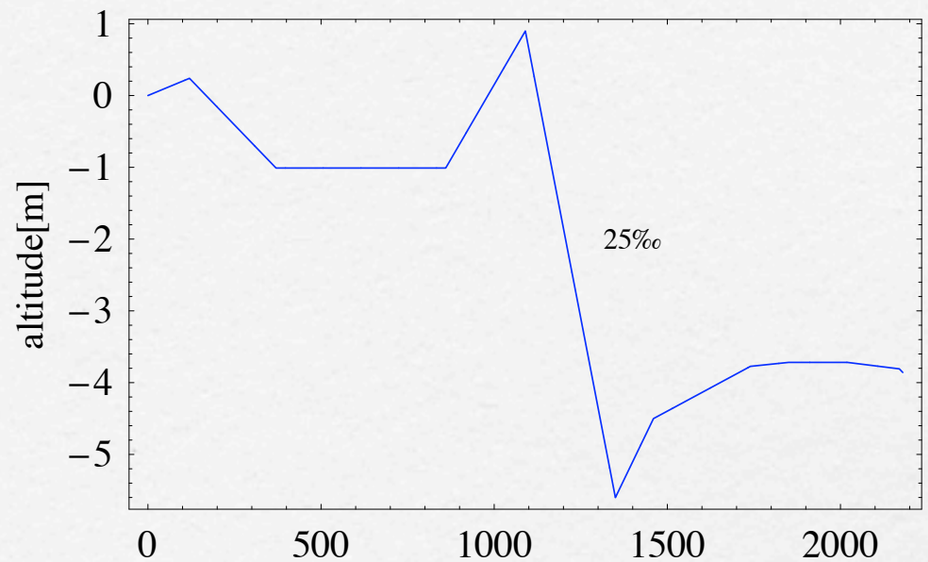
動的計画法を用いて最適化

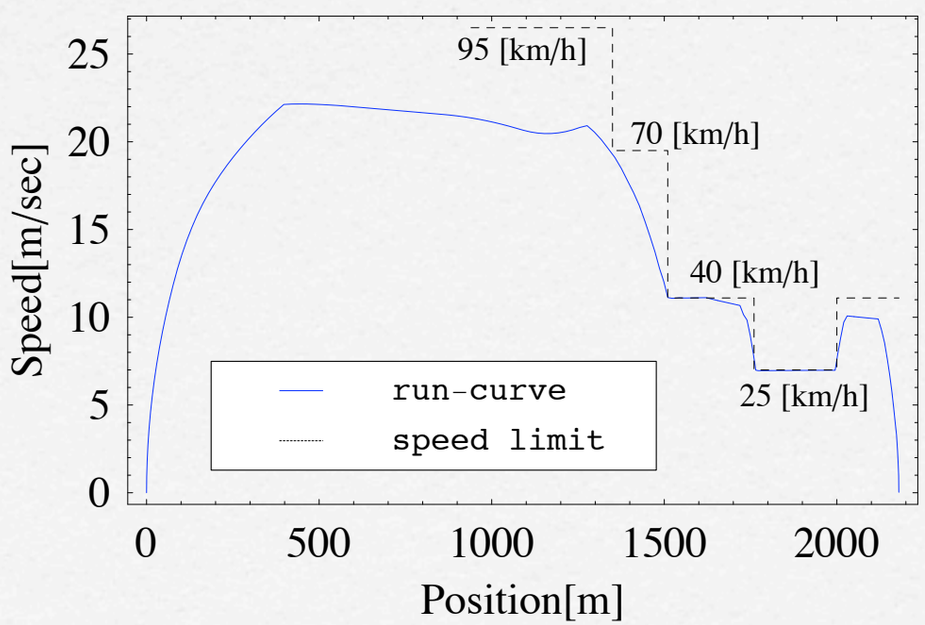
すべての格子点について

最適入力を求めていく

2. 車両単体での最適化

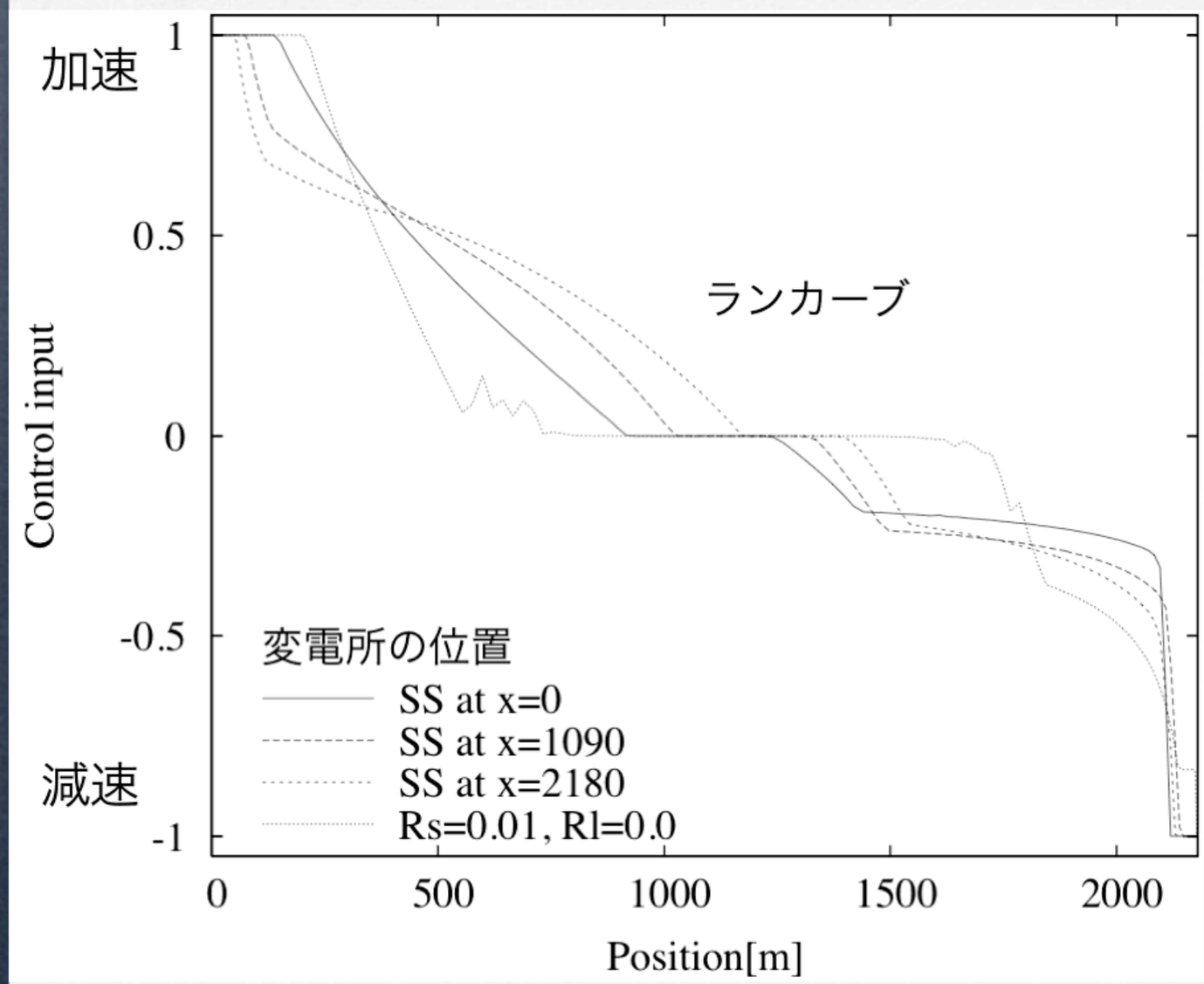






複雑な勾配・速度制限に対しても最適解導出が可能

3. き電損失を考慮した解析



き電損失を減らすため

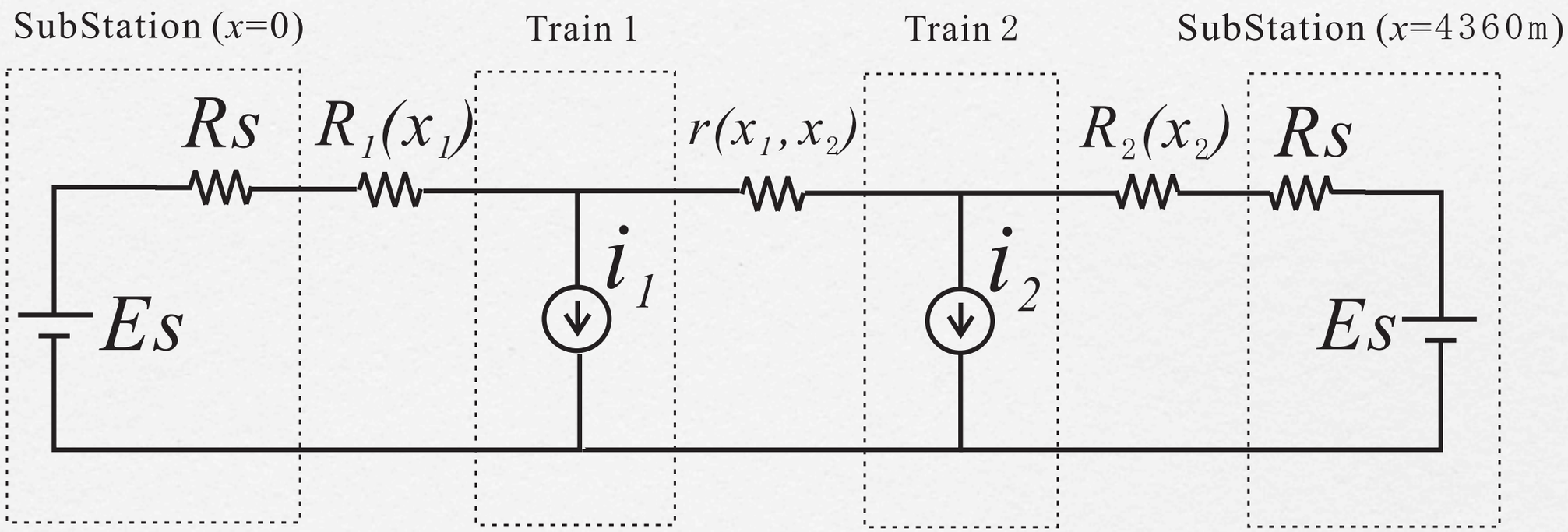
定出力領域でセーブ

↓

従来では考えられない

解を導出

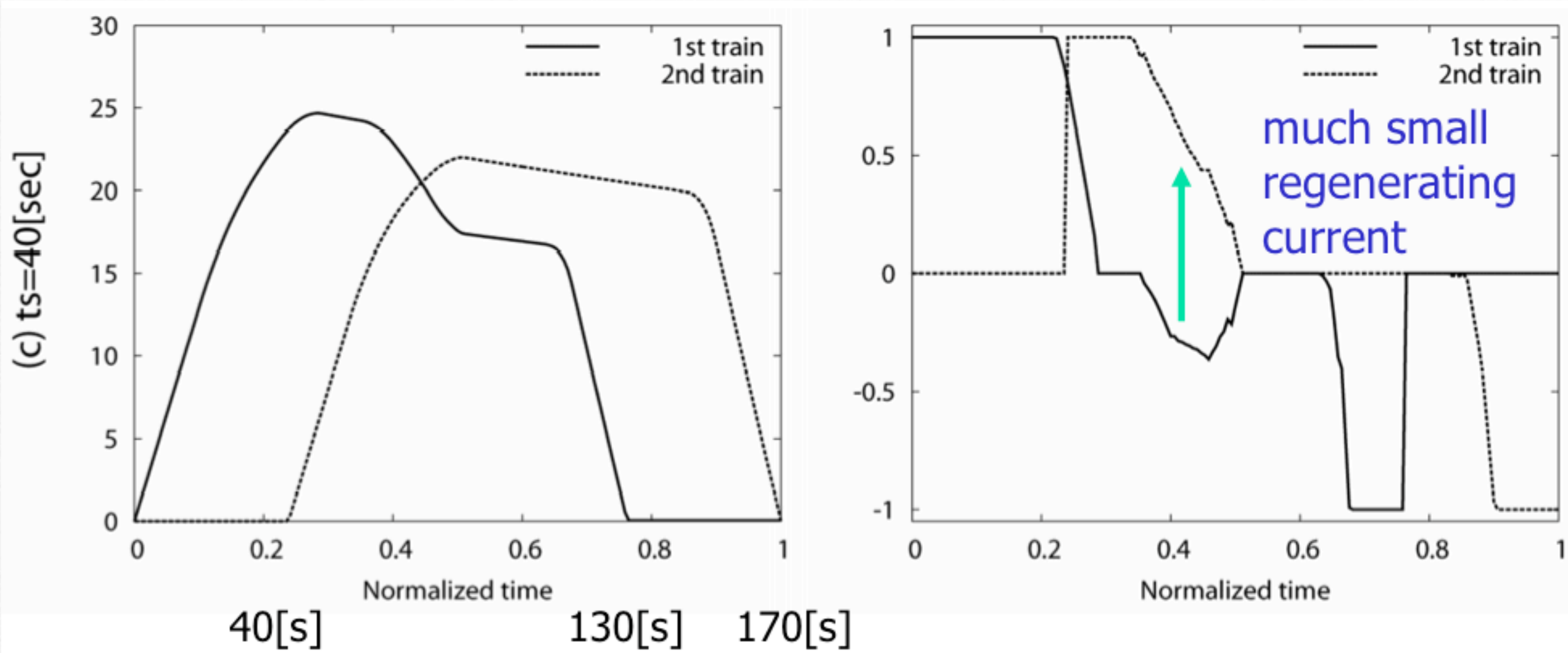
4. 複数列車の考慮



変電所モデル

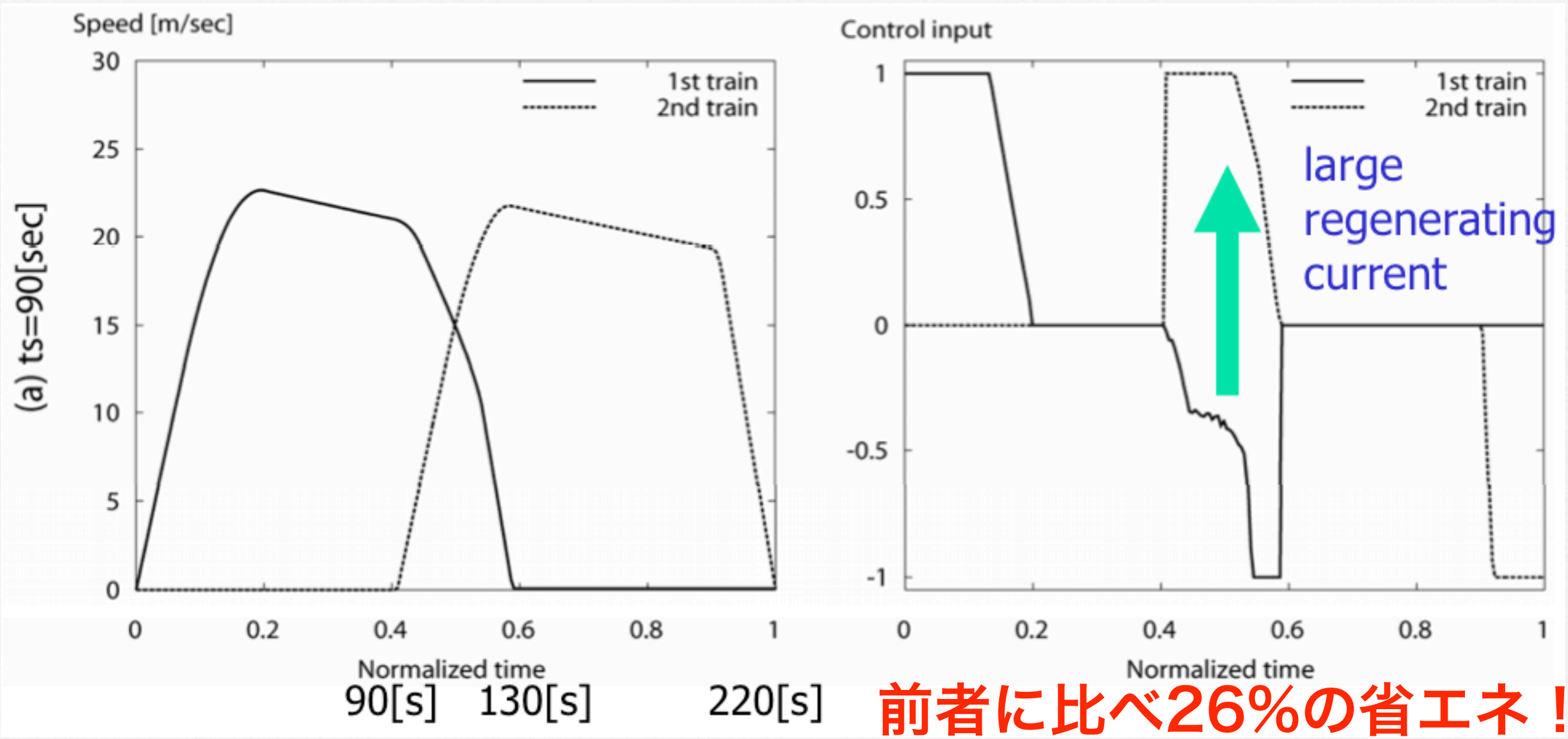
勾配法を用いて最適化

4. 複数列車の考慮



回生電力を活かせない場合

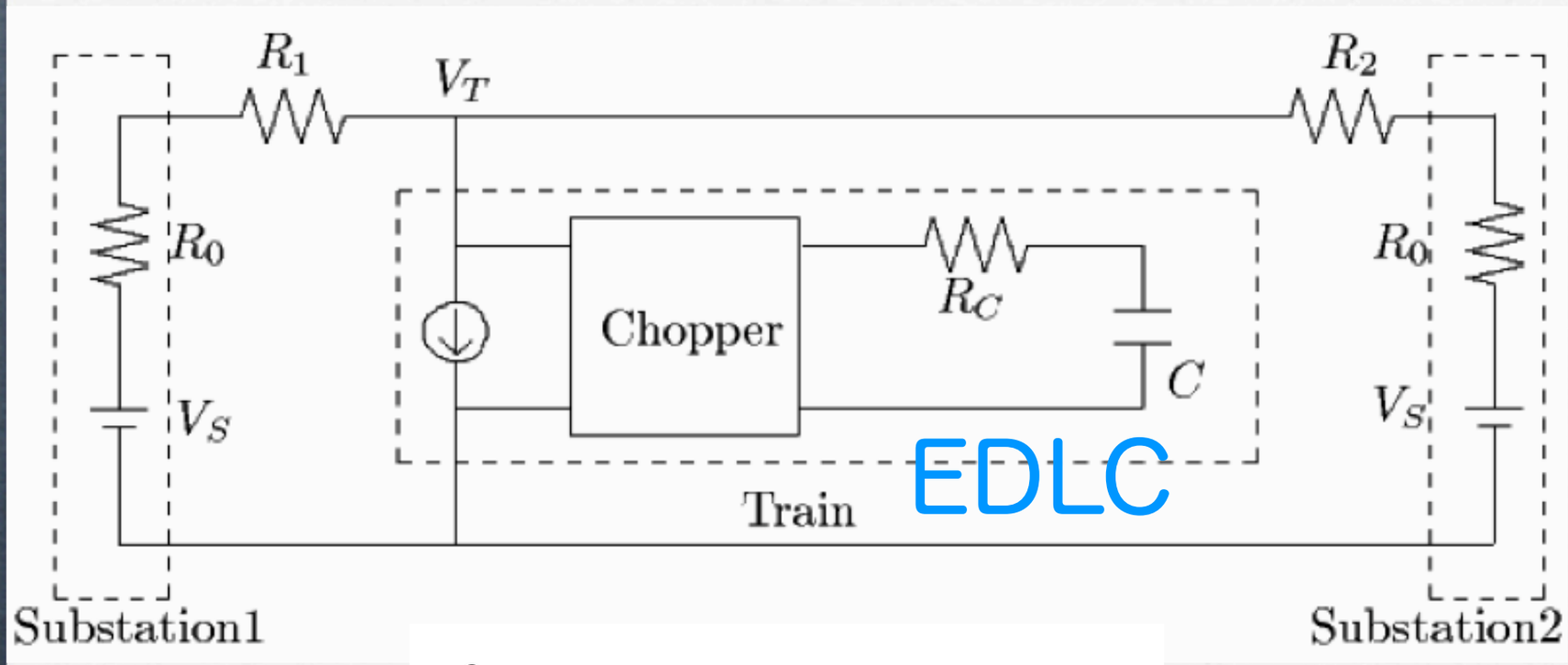
4. 複数列車の考慮

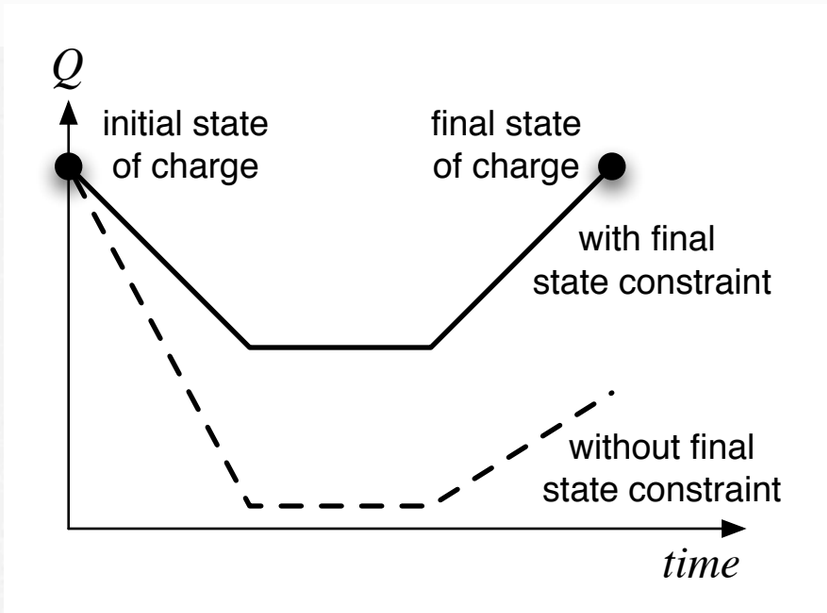


前者に比べ26%の省エネ！

回生電力をうまく活かせる場合

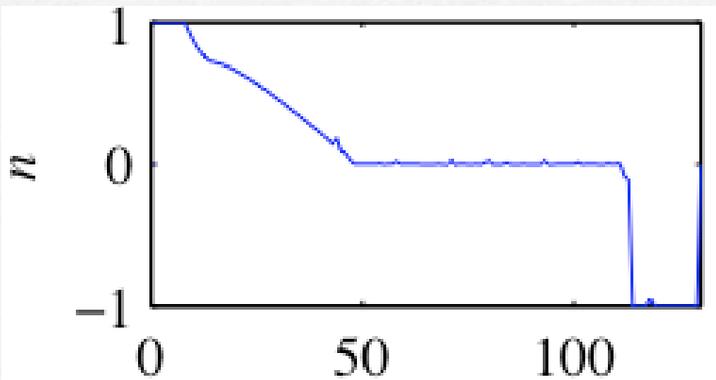
5. 電力貯蔵装置の考慮



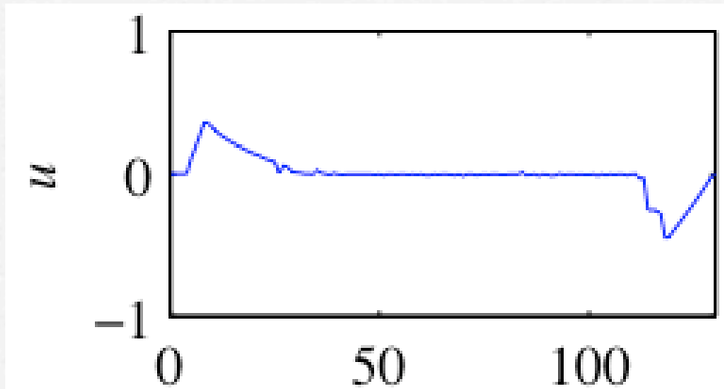


ノッチ指令と充放電指令の両方を同時に最適化

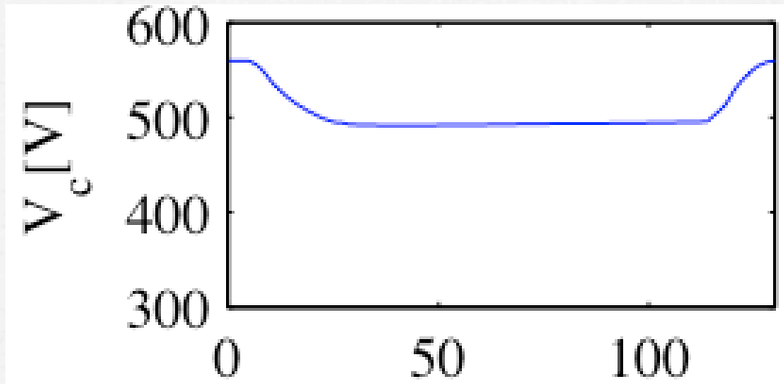
5. 電力貯蔵装置の考慮



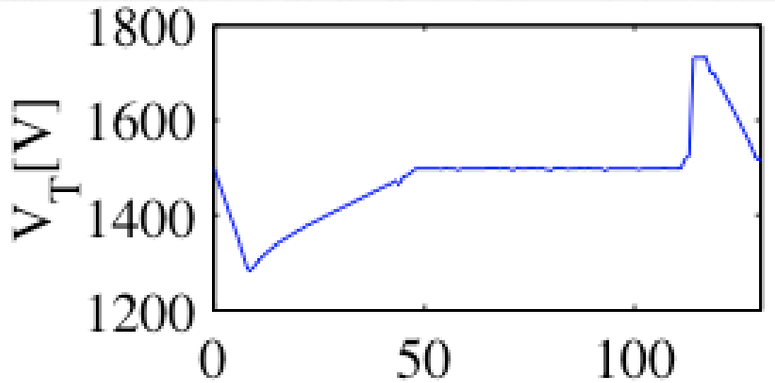
(a) notch command



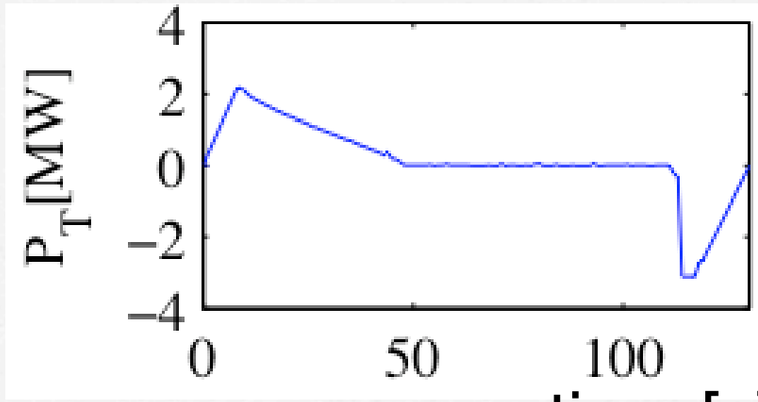
(b) charge command



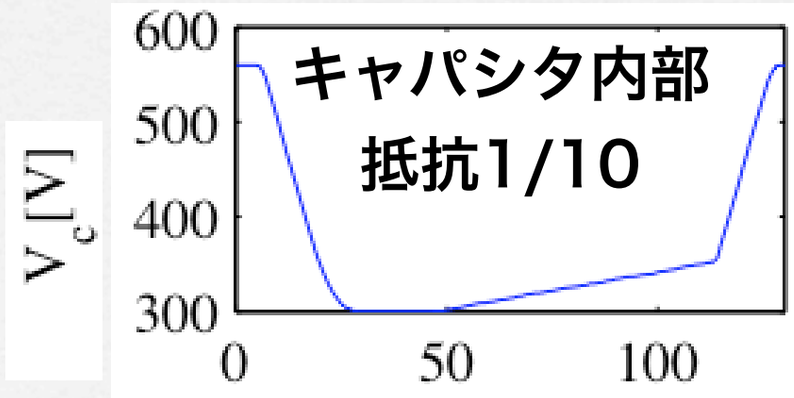
(c) capacitor voltage



(d) voltage at pantograph



(e) motor input power



(c)' capacitor voltage

6. 実システムへの適用性

- 最適化の効果が大きいケース
  - 全体的に余裕が十分取られた線区
  - 異なる性能の電車が混用されている場合の高性能電車
  - 待避の関係で余裕が多い緩行列車
  - 高密度線区でスジの寝た優等列車
  - 単線区間で行き違いの関係から余裕が多い列車

6. 実システムへの適用性

- 最適化：未来の制御入力まで予め決定
- 実際の制御：設計されたコントローラでリアルタイムに制御
- 今回の検討
  - 未来の予想を含むため外乱に弱い
  - 動的計画法による１列車系以外はすぐに実際の制御に使える訳ではない

6. 実システムへの適用性

- 考えられる利用法
  - 自動運転（又は高度な運転支援）
    - 最適化結果をコントローラ設計時のお手本として利用
  - 手動運転
    - 知見をマニュアル化

おわりに

- まとめ
  - 現実的な条件を考慮した最適運転方法の数値解法を提案
  - 従来では考えられない知見を得る
- 今後の課題
  - 電力貯蔵のモデルの改良
  - 実際の制御への適用法の模索